

⑥1

Int. Cl.:

H 03 f

P161715.WOP

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



⑤2

Deutsche Kl.: 21 a4, 29/50

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

# Offenlegungsschrift 1912 852

Aktenzeichen: P 19 12 852.0

Anmeldetag: 13. März 1969

Offenlegungstag: 1. Oktober 1970

Ausstellungspriorität: —

③0

Unionspriorität

③2

Datum: —

③3

Land: —

③1

Aktenzeichen: —

⑤4

Bezeichnung: Verstärker für sehr kurze elektromagnetische Wellen

⑥1

Zusatz zu: —

⑥2

Ausscheidung aus: —

⑦1

Anmelder: Siemens AG, Berlin und München, 8000 München

Vertreter: —

⑦2

Als Erfinder benannt: Toussaint, Dipl.-Ing. Dr. Hans-Norbert;  
Neumann, Dipl.-Phys. Peter; 8000 München

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —

DT 1912852

SIEMENS AKTIENGESellschaft  
Berlin und München

München 2, den 13. MRZ 1969  
Wittelsbacherplatz 2

PA

69/2185

Verstärker für sehr kurze  
elektromagnetische Wellen  
-----

Die Erfindung bezieht sich auf einen Verstärker für sehr kurze elektromagnetische Wellen mit einem Halbleiterelement mit negativer Widerstandscharakteristik, insbesondere einer Tunnel-diode, das an einen Zirkulator angeschlossen ist, an den außer der Signalquelle noch ein Verbraucher (Lastwiderstand) angeschlossen wird.

Bei Verstärkern dieser Art wird die negative Charakteristik des Halbleiterelements zur Entdämpfung beispielsweise des durch die Parallelschaltung eines Generators und eines Verbrauchers gebildeten positiven Leitwertes ausgenutzt. Ein besonders geeignetes Element dieser Art stellt die Tunnel-diode dar, deren Kennlinie bekanntlich einen fallenden Bereich aufweist. Wird eine solche Tunnel-diode daher in einem Arbeitspunkt betrieben, der auf diesem fallenden Kennlinienast festgelegt ist, dann stellt sie einen negativen Widerstand dar, der in der bereits geschilderten Weise zu Verstärkungszwecken herangezogen werden kann. Der negative Ast einer Tunnel-diodenkennlinie ist jedoch meist nur in einem relativ kleinen Spannungsbereich als linear anzusehen. Wird der Tunnel-diode ein größeres Signal zugeführt, was im Sinne einer größeren Ausgangsleistung häufig wünschenswert ist, dann tritt effektiv ein betragsmäßig größerer negativer Widerstand auf. Der größer werdende Betrag des negativen Widerstandes bedingt aber einen entsprechenden Rückgang der Verstärkung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diesen Schwierigkeiten in einfacher Weise zu begegnen.

Ausgehend von einem Verstärker für sehr kurze elektromagnetische Wellen mit einem Halbleiterelement mit negativer Widerstandscharakteristik, insbesondere einer Tunneldiode, das an einen Zirkulator angeschaltet ist, an den außer der Signalquelle noch ein Verbraucher (Lastwiderstand) angeschlossen wird, wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung in der Weise gelöst, daß zwischen das Halbleiterelement und den Zirkulator ein transformierendes Netzwerk eingeschaltet ist, das den negativen Widerstand des Halbleiterelementes am Zirkulatoranschluß auf einen Wert herabsetzt, bei dem vor allem aussteuerungsbedingte Änderungen des Betrags des negativen Widerstandes die Verstärkung weniger stark, insbesondere praktisch überhaupt nicht, beeinflussen, wobei vorteilhafterweise das transformierende Netzwerk aus einem dem Halbleiterelement parallelgeschalteten Kondensator der Kapazität C und einer zu der Parallelschaltung in Reihe geschalteten Spule der Induktivität L besteht.

Die Kapazität C ist dabei mit Vorteil so bemessen, daß bei der Signalfrequenz  $\omega$  die Bedingung  $\omega C = \frac{1}{R}$  mit R als Betrag des negativen Widerstandes zumindest angenähert erfüllt ist. In vorteilhafter Weise kann dabei die ohnehin unvermeidliche Kapazität des pn-Überganges des Halbleiterelementes, insbesondere der Tunneldiode, so ausgebildet werden, daß die obengenannte Beziehung zumindest angenähert erfüllt ist, so daß ein spezieller Kondensator nicht erforderlich ist.

Die Induktivität L wird mit Vorteil derart bemessen, daß die Beziehung  $\omega L = \frac{R}{2}$  mit R als Betrag des negativen

Widerstandes erfüllt ist. Die Induktivität  $L$  kann hierbei beispielsweise durch die Zuleitungsinduktivität  $L_0$  der Tunnelodiode und durch geeignet gewählte äußere Induktivitäten  $L_1$  gebildet werden.

Nachstehend wird die Erfindung anhand von Figuren noch näher erläutert.

Fig. 1 zeigt schematisch die Stromspannungskennlinie einer Tunnelodiode. Üblicherweise legt man bei einem Verstärkerbetrieb der Tunnelodiode deren Arbeitspunkt in den steilsten Teil des negativen Astes (Punkt A). Der Betrag des negativen Widerstandes ist im Arbeitspunkt A minimal ( $R = R_{\min}$ ). Wird die Tunnelodiode von einem Signal angesteuert, so bleibt bei hinreichend kleinen Signalamplituden der Betrag des negativen Widerstandes unverändert. Mit wachsender Signalamplitude  $\hat{u}_S$  nimmt der Betrag des negativen Widerstandes  $R$  jedoch rasch zu (vgl. Fig. 2). In der Fig. 2 ist das Verhältnis des negativen Widerstandes zum minimalen Widerstand ( $R/R_{\min}$ ) als Funktion der maximalen Signalamplitude  $\hat{u}_S$  graphisch aufgetragen.

Fig. 3 zeigt schematisch einen Tunneliodenverstärker mit einem Zirkulator. Die vom Signalgenerator 1 kommende Signalwelle wird über den Zirkulator 2 der Tunnelodiode 3 zugeführt. Die Signalwelle wird am negativen Widerstand der Tunnelodiode verstärkt, reflektiert und gelangt zum Lastwiderstand 4, der an dem Arm des Zirkulators angeschaltet ist, der dem Arm folgt, an dem die Tunnelodiode 3 liegt. Die mit diesem Verstärker erzielbare Leistungsverstärkung  $\Gamma$  ist durch den Ausdruck gegeben

$$\Gamma = \left| \frac{R_a + R}{R_a - R} \right|^2$$

$R_a$  bedeutet hierin den Wert des Lastwiderstandes, der mit dem des Generatorwiderstandes und dem Wellenwiderstand des Zirkulators identisch sei. Aussteuerungsbedingte Änderungen des Betrages des negativen Widerstandes machen sich in entsprechenden Verstärkungsänderungen bemerkbar. Gemäß der Erfindung wird zwischen dem Zirkulator 2 und der Tunnel diode ein transformierendes Netzwerk 5 geschaltet (vgl. Fig.4), das derart bemessen ist, daß Änderungen des Betrages des negativen Widerstandes die Verstärkung nicht beeinflussen. Auf diese Weise wird der durch den quantenmechanischen Tunneleffekt erzeugte negative Widerstand nicht in seiner ursprünglichen Größe zur Verstärkung herangezogen, sondern die Verstärkung erfolgt erst an dem transformierten negativen Widerstand. Das Netzwerk 5 besteht im einfachsten Fall (vgl. Fig.5) aus einer dem negativen Widerstand  $-R < 0$  parallelgeschalteten Kapazität C und einer in Serie geschalteten Induktivität L. Die Kapazität C ist dabei so bemessen, daß bei der Signalfrequenz  $\omega$  die Bedingung  $\omega C = \frac{1}{R}$  zumindest angenähert erfüllt ist. Für die Induktivität L gilt die Beziehung  $L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{R}{2}$  bzw.  $\omega L = \frac{R}{2}$ .

Die Fig.6 zeigt schematisch in der komplexen Scheinwiderstandsebene die durch die Elemente C und L bewirkte Transformation des negativen Widerstandes  $-R < 0$ . Dieser negative Widerstand wird durch die parallelgeschaltete Kapazität mit dem Blindleitwert  $\omega C = \frac{1}{R}$  längs des Kreisbogens 6 in den Punkt a transformiert. Die Induktivität L mit dem induktiven Blindwiderstand  $\omega L = \frac{R}{2}$  bewirkt eine weitere Transformation zum reellen Wert  $\frac{R}{2}$ . Wird nun durch Übersteuerung der Tunnel diode (oder durch eine beispielsweise temperaturbedingte kleine Arbeitspunktverlagerung) der Betrag des negativen Widerstandes effektiv größer, so beginnt der Transformationsweg in der Fig.6 bei dem Wert  $-R'$  auf der negativen reellen Achse. Der in diesem Beispiel betragsmäßig um 10% größer als R angenommene

negative Widerstand  $R'$  wird längs des Kreisbogens 7 in den Punkt b transformiert. Bei gleichbleibendem Wert der Kapazität  $C$  liegen die beiden Punkte a und b auf dem Kreisbogen 8. Man erkennt unmittelbar aus Fig.6, daß die Realteile der den Punkten a und b entsprechenden Impedanzen praktisch gleich groß sind. Wegen des gleich groß gebliebenen induktiven Widerstandes wird jedoch die dem Punkt b entsprechende Impedanz nicht mehr in den negativen reellen Widerstand  $\frac{R}{2}$  transformiert, sondern in eine dem Punkt c entsprechende Impedanz. Es läßt sich jedoch zeigen, daß dies die Verstärkung fast nicht beeinflußt. Die durch die angenommene Zunahme des Betrages des negativen Widerstandes um 10% bedingte Abnahme der Verstärkung beträgt weniger als 0,1 dB.

Fig.7 zeigt das Ersatzschaltbild der Tunnelodiode. Hierbei bedeuten  $-R_n$  der am pn-Übergang auftretende Widerstand,  $C_n$  die Kapazität des pn-Überganges,  $L_0$  die Zuleitungsinduktivität der Tunnelodiode und  $R_0$  der Bahnwiderstand der Tunnelodiode. Hierbei ist es von Vorteil, die zu dem negativen Widerstand  $-R < 0$  parallelliegende Kapazität  $C_n$  so auszubilden, daß die Bedingung  $\omega C_n = \frac{1}{R_n}$  zumindest angenähert erfüllt ist. Man kann somit als Kapazität des transformierenden Netzwerkes die ohnehin unvermeidliche Kapazität des pn-Überganges verwenden. Die Serieninduktivität des transformierenden Netzwerkes wird von der Zuleitungsinduktivität  $L_0$  der Tunnelodiode sowie einer zugeschalteten äußeren Induktivität  $L_1$  gebildet, so daß sich die Beziehung  $\omega(L_0 + L_1) = \frac{R}{2}$  ergibt. Die Induktivität  $L_1$  ist in dem Ersatzschaltbild nach Fig.7 strichliert eingezeichnet.

7 Figuren

5 Patentansprüche

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verstärker für sehr kurze elektromagnetische Wellen mit einem Halbleiterelement mit negativer Widerstandscharakteristik, insbesondere einer Tunnel diode, das an einen Zirkulator angeschaltet ist, an den außer der Signalquelle noch ein Verbraucher (Lastwiderstand) angeschlossen wird, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß zwischen das Halbleiterelement und den Zirkulator ein transformierendes Netzwerk eingeschaltet ist, das den negativen Widerstand des Halbleiterelementes am Zirkulatoranschluß auf einen Wert herabsetzt, bei dem vor allem aussteuerungsbedingte Änderungen des Betrags des negativen Widerstandes die Verstärkung weniger stark, insbesondere praktisch überhaupt nicht, beeinflussen.
2. Verstärker nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß das transformierende Netzwerk aus einem dem Halbleiterelement parallelgeschalteten Kondensator der Kapazität C und einer zu der Parallelschaltung in Reihe geschalteten Spule der Induktivität L besteht.
3. Verstärker nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß die Kapazität so bemessen ist, daß bei der Signalfrequenz  $\omega$  die Bedingung  $\omega C = \frac{1}{R}$  mit R als Betrag des negativen Widerstandes zumindest angenähert erfüllt ist.
4. Verstärker nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t , daß die Induktivität L derart bemessen ist, daß die Beziehung  $\omega L = \frac{R}{2}$  mit R als Betrag des negativen Widerstandes erfüllt ist.

5. Verstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet -  
zeichnet, daß die Kapazität  $C_n$  des pn-Über-  
ganges des Halbleiterelementes, insbesondere der Tunnel-  
diode, so ausgebildet ist, daß die Beziehung  $\omega C_n = \frac{1}{R}$   
zumindest angenähert erfüllt ist.



8  
Leerseite

$\mu$

Fig. 1

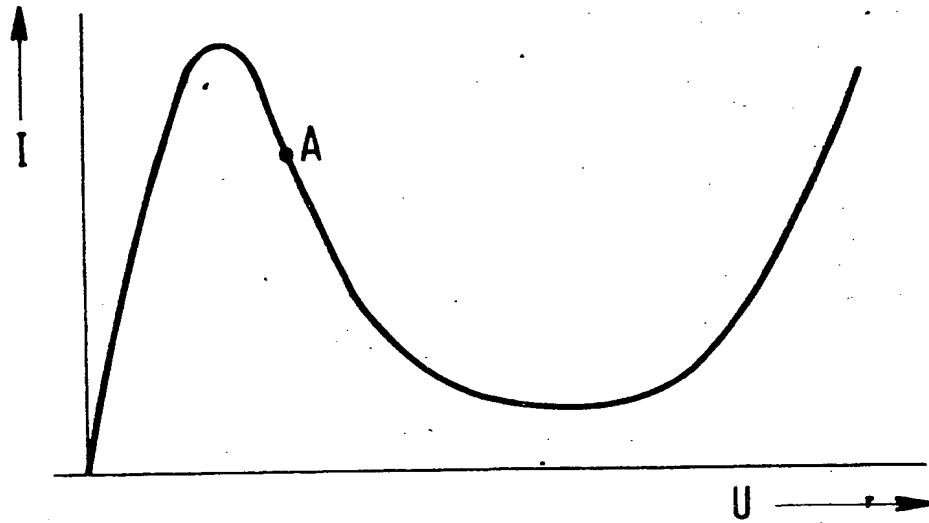
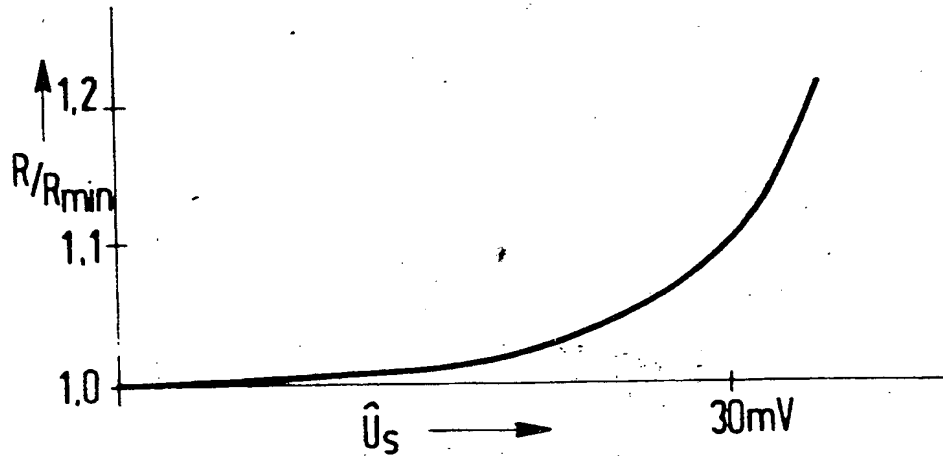


Fig. 2



009840/0645

Fig. 3

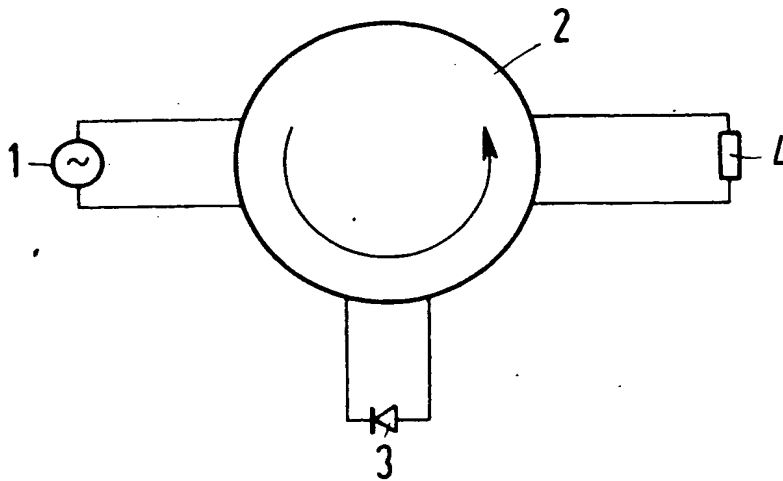


Fig. 4

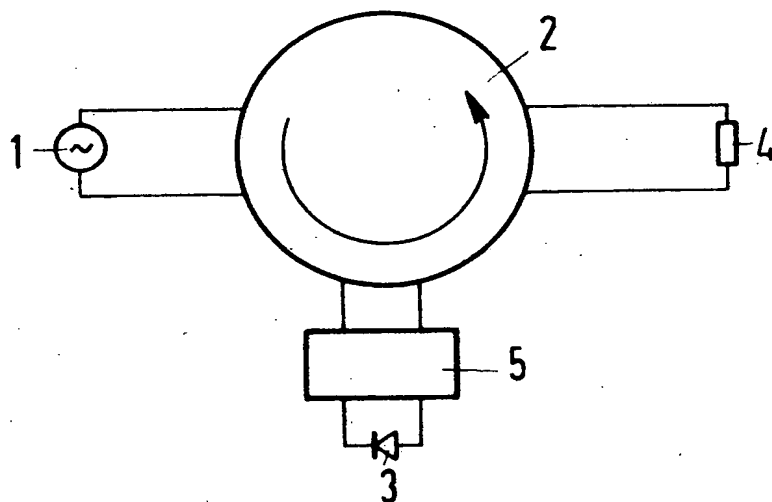


Fig. 5

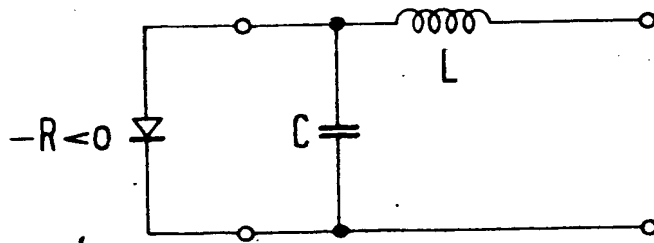


Fig. 6

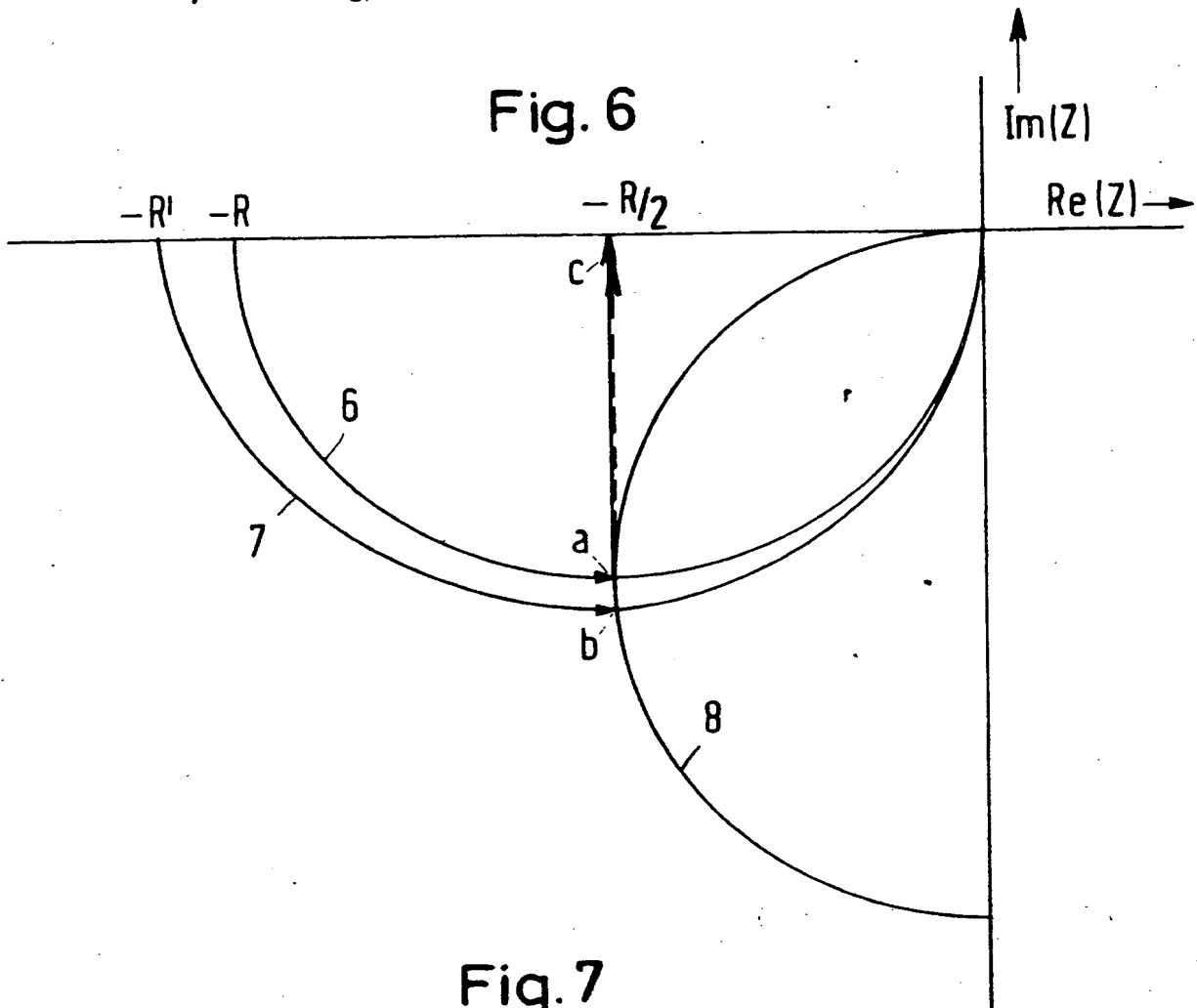
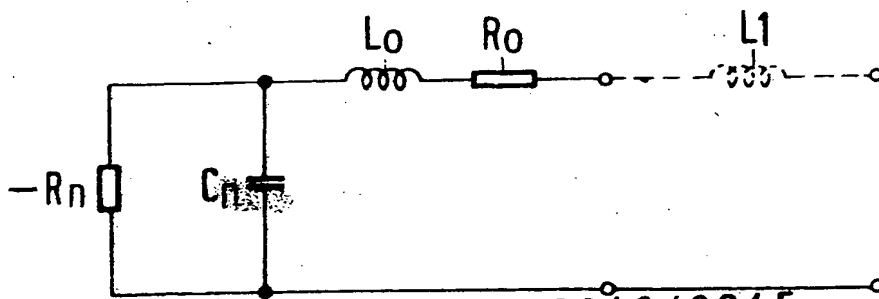


Fig. 7



009840/0645